

W287

Claims Description**Nuclear magnetic resonance spectrometer**

Patent Number: ☐ US6169402

Publication date: 2001-01-02

Inventor(s): YOSHIKAWA MASAOKI (JP); ITO YOSHITAKA (JP); UZAWA JUN (JP); YABUNO RYOHEI (JP); OKA TETSUO (JP); YANAGI YOUSUKE (JP)

Applicant(s):: AISIN SEIKI (US); RIKAGAKU KENKYUSHO (US)

Requested Patent: ☐ JP11248810

Application Number: US19990257192 19990225

Priority Number (s): JP19980061895 19980227

IPC Classification: G01V3/00

EC Classification: G01R33/3815

Equivalents: ☐ DE19908433, ☐ GB2336682

Abstract

A magnet for producing a static magnetic field is improved, and a small-sized, high-resolution nuclear magnetic resonance system is provided. A superconductive bulk (17) of a high-temperature superconductor is cooled in a vacuum insulated container (16), and magnetized with a magnetizing coil (19). This is used for analyzing a subject (11)

Data supplied from the esp@cenet database - I2

TOP**Claims**

What is claimed is:

1. A nuclear magnetic resonance apparatus comprising:
a high-temperature superconductive bulk;
a cooling means for cooling the high-temperature superconductive bulk;
a vacuum insulated container surrounding the high-temperature superconductive bulk and the cooling means;
a magnetizing coil positioned such that the high-temperature superconductive bulk is within a magnetic field produced by the magnetizing coil;
a space for placing a subject to be examined, positioned such that the subject is within a magnetic field produced by the high-temperature superconductive bulk; and
a detector coil for detecting nuclear magnetic resonance signals produced by the subject.
2. A nuclear magnetic resonance apparatus according to claim 1, wherein the high-temperature superconductive bulk comprises:
crystals of a superconductive phase of superconductor oxide; and

【特許請求の範囲】

【請求項1】 真空断熱容器内で冷却され且つ磁場を印加された高温超伝導体が、超伝導電流が内部を流れることで磁場を捕捉して磁場供給部材となり、その磁場を主磁場とし、この磁場内に置かれた被測定物体のNMR信号を被測定物体に隣接した検出コイルと既存のスペクトロメータで検出する構成の核磁気共鳴装置。

【請求項2】 高温超伝導体は、その主成分がRE-Ba-Cu-Oで表せる酸化物超伝導体であり、REはイットリウム（元素記号Y）、サマリウム（Sm）、ランタン（La）、ネオジム（Nd）、ユーロピウム（Eu）、ガドリニウム（Gd）、エルビウム（Er）、イッテルビウム（Yb）のうち少なくとも1種または2種以上を合わせてなるものであって、絶対温度90度（K）乃至96Kの超伝導遷移温度をもつ超伝導相とその内部にあって同素体の結縁相を50 μ m以下の粒度で分散した組織を含むことを特徴とする請求項1の核磁気共鳴装置。

【請求項3】 高温超伝導体が主として超伝導相からなる1mm以上100mm以下の結晶が単一または複数集まって構成される成形体であることを特徴とする請求項2の核磁気共鳴装置。

【請求項4】 上記超伝導体の着磁方向に対して結晶のc軸方向が配向したことを特徴とする請求項3の核磁気共鳴装置。

【請求項5】 超伝導体の冷却について、液体窒素中またはパルス管冷凍機、GMサイクル冷凍機、ソルベータサイクル冷凍機、スターリングサイクル冷凍機のうちの一種の小型冷凍機の冷却部分で超伝導遷移温度以下に冷却されることを特徴とする請求項4の核磁気共鳴装置。

【請求項6】 超伝導体への磁場の印加をパルス磁場によって行うことを特徴とする請求項5の核磁気共鳴装置。

【請求項7】 超伝導体への磁場の印加を静磁場で行うことを特徴とする請求項5の核磁気共鳴装置。

【請求項8】 冷凍機の冷却部に支持され且つ真空断熱容器内に配された高温超伝導体からなる磁石と、該磁石を囲む着磁コイルと、該磁石と対向して配される被測定物体用空間、該空間の周りに配された検出コイルとを有し、検出コイルに接続される発振検波器を通じてNMR信号を検出する核磁気共鳴装置。

【請求項9】 高温超伝導体の主成分がRE-Ba-Cu-Oからなる酸化物超伝導体であり、REが、Y、Sm、La、Nd、Eu、Gd、Er、Ybのうち少なくとも1種または2種以上からなる請求項8の核磁気共鳴装置。

【請求項10】 着磁コイルと磁石との間に鉄製のヨークを配した請求項8の核磁気共鳴装置。

【請求項11】 着磁コイルを真空断熱容器内に配する請求項8の核磁気共鳴装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、核磁気共鳴（Nuclear Magnetic Resonance: NMR）信号を用い、特に医療分野、工業用素材や農作物等の成分及び構造分析に利用できる核磁気共鳴装置に関する。

【0002】

【従来の技術】核磁気共鳴（Nuclear Magnetic Resonance）装置は、各原子の化学シフト量や、スピン-スピン結合定数などのあらゆる有機化合物の構造解析上有用なデータを得ることができ、且つ強磁界を使うほど詳細で情報量の多い分析が可能なることから、超伝導材料を用いた磁石がNMRのため利用される。NMR装置は、基本的には静磁場を作る磁石、別の高周波磁場パルスを発生し、NMR信号を検出するコイル、NMR信号を受ける受信器、システムコントローラ等から構成され、磁石としては、超伝導磁石が磁場の強度及び安定性と均一性の点から優位である。NMR現象を利用して、網膜や組織、器官の中で起きている化学反応をそのままの状態を追跡し、例えば脳透視断層図を得る磁気共鳴イメージング装置は、このNMRの医療への応用の代表例である。

【0003】磁気共鳴イメージング（Magnetic Resonance Imaging）装置として知られるMRI装置は、静磁場発生手段である磁石、空間情報を信号に与えるための傾斜磁場、高周波電磁波照射系、NMR信号検出系、人体等の検査対象を取り巻き、実際に高周波電磁波照射、信号検出を行うプローブコイル、これらを制御し且つ得られた信号を処理するコントローラから少なくともなり、静磁場存在下に置かれた検査対象に高周波電磁波を照射することにより得られるNMR（Nuclear Magnetic Resonance）信号により、信号を発生している核種の空間分布を映像化するものである。このMRI装置は、放射線を使用しないことから安全であり、十分な解像力が得られるので、実用価値がきわめて高い。

【0004】従来の核磁気共鳴を用いた分析機器や医療用MRI装置ではその多くが、その主磁場の形成に、ニオブ・チタンなどの金属系超伝導線材による超伝導コイルを使った超伝導磁石を用いている。このコイルは液体ヘリウムを使って極低温に冷却して利用するため、高価な液体ヘリウムが多量に必要で、運転コストが高いという問題があった。ニオブ・チタンなどの金属系超伝導線材は、実際、複雑な製造工程と熱処理で生産されている。このために超伝導コイルは銅線で作られた通常の電磁石のコイルよりも遙かに高価であり、装置本体は極めて高価である。しかも超伝導磁石の運転に不可欠な寒剤（液体ヘリウム及び液体窒素）の利用は特殊な技術を要するため、技術的に複雑且つ煩雑であり、決して簡便な技術とはいえない難かった。これらのことは、高性能なNMRやMRI装置の普及を制限している大きな問題点であった。

【0005】主磁場発生源として、従来のヘリウム冷却型の超伝導マグネットに代わって、直冷式超伝導マグネットを用い、小型で簡易的なNMR装置の例が、特開平9-135823号公報に提案される。この提案は、従来の大型NMR装置に比較して簡便な医療装置としてのNMR装置を構成するものである。この方式は従来のヘリウム冷却の超伝導マグネットに比較して簡便であるが、主磁場の形成は超伝導線材による超伝導コイルが用いられている。この超伝導線材は極めて高価であることから装置全体の価格は高価となっている。また、冷凍機を用いて真空容器内部の超伝導コイルを冷却するために、コイル部分が大型になり、装置として小型で簡便である利点を生かし切れない。しかも超伝導コイルの熱容量が大きいために、冷凍機で所定の温度に冷却するのに必要な時間が長く、冷却をはじめてから測定開始までの時間が長いという問題があった。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、前述した従来技術の問題点を解決することを解決すべき課題とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は、前述した課題解決のため、超伝導コイルや従来の永久磁石、電磁石を用いる代わりに、高温超伝導体を用いた超伝導永久磁石を用いて主磁場の形成を行うことを特徴とするNMR(MRI)分析装置であって、真空断熱容器内で冷却された高温超伝導体が磁場を印加され、超伝導電流が内部を流れることで磁場を捕捉して磁場供給部材となり、その磁場を主磁場とし、この磁場内に置かれた被試験物体のNMR信号を隣接した検出コイルで検出する構成の核磁気共鳴装置を提供するものである。

【0008】超伝導永久磁石として働く高温超伝導体はその主成分が $RE-Ba-Cu-O$ で表せる酸化物超伝導体であり、いわゆる溶融法で合成される成形体で超伝導バルクと呼ばれる。 RE はイットリウム(元素記号 Y)、サマリウム(Sm)、ランタン(La)、ネオジム(Nd)、ユーロピウム(Eu)、ガドリニウム(Gd)、エルビウム(Er)、イッテルビウム(Yb)を表し、そのうち少なくとも1種または2種以上を合わせてなるものである。

【0009】絶対温度で90K(ケルビン)以上の超伝導遷移温度 T_c をもつイットリウム系、ネオジム系、サマリウム系などの高温超伝導体を合成する際、原料を一旦融点よりも高く過熱して溶融し、再び凝固させるいわゆる溶融法で合成すると、粗大な結晶が成長した成形体を得られる。これを超伝導バルクと呼ぶ。その超伝導となる母相には絶縁相が微細に分散した組織が得られ、この分散相の存在に起因するピン止め点が磁束を捕捉して、超伝導バルクは擬似的な永久磁石として働く。溶融法で合成した超伝導バルクは絶対温度90度(K)乃至

96Kの超伝導遷移温度をもち、超伝導相からなる1mm以上100mm以下の大型結晶と、その内部にあって同素体の絶縁相を50 μm 以下(望ましくは10 μm 以下)の粒度で分散した組織を含むことを特徴とする。 $RE-Ba-Cu-O$ で表される超伝導相における $Re:Ba:Cu$ のモル比は、相互の置換はあるが、概ね1:2:3であり、絶縁相は概ね2:1:1である。超伝導バルク内でのこれらのモル比は10:1乃至1:1が望ましい。絶縁相が9%以下(即ち10:1以下)では溶融時の試料の変形が大きく、熱処理前の形状を保ちにくくなるため、成形性に劣る。また、絶縁相が50%以上(1:1以上)では絶縁相が主となるため、超伝導特性が劣るからである。超伝導バルクの合成時には、その絶縁相を微細に分散することを目的として、0.1%乃至10%の白金(元素記号 Pt)が添加されることがある。このことで50 μm (望ましくは10 μm)以下の絶縁相が得られる。また、超伝導バルクの合成には50%以下の銀(Ag)が添加されることもある。銀は超伝導相の性能を大きく損なうことなく組織中に分散し、試料中の亀裂の伝播を抑制して機械的強度を向上したり、融点を降下して結晶成長を速くしたり、種結晶との温度差を与えてその溶融を抑制して結晶方位に寄与する。超伝導体は、その結晶方位によって超伝導特性に異方性があり、結晶軸の c 軸に垂直な方向の臨界電流密度が他の結晶方位に比べて高い。このため結晶軸の c 軸を一方に配向すると優秀な磁場の捕捉ができる。従って超伝導バルクをその着磁する方向に c 軸を配向することで優れた捕捉磁場性能が得られる。

【0010】超伝導バルクは液体窒素中または冷凍機の冷却部分で超伝導遷移温度以下に冷却される。冷凍機は小型冷凍機が主に使われる。これらはパルス管冷凍機、GMサイクル冷凍機、ソルベーサイクル冷凍機、スターリング冷凍機のうち1種が用いられ、寒剤(液体ヘリウム及び液体窒素)の煩わしい作業なく、超伝導バルクを冷却する。この後超伝導バルクにはパルス磁場によって着磁がされ、超伝導永久磁石として機能するようになる。この着磁は静磁場を印加しながら、超伝導遷移温度以下に冷却することによっても行われる。このように着磁された超伝導バルクは真空容器内部から磁場を発生しており、この磁場中に被測定物体を設置して磁場を与える。この被測定物体の周りには近接してコイルが設置され、発振検波器を通じてNMR信号が検出される構成である。

【0011】

【発明の実施の形態】図1を参照する。被測定物体11はその周りに巻かれた検出コイル12の内部にあり、周波数掃印をするロビンソン型発振検波器13とロックインアンプ14を通じてレコーダ15に繋がっており、主磁場内部のNMR信号を検出して、レコーダに記録する。レコーダはパソコンにつながり、入力信号は同時に

データ処理されてNMRの分析結果として表示される、あるいはMRIとしてマッピングされた情報となる。被測定物体11は、真空断熱容器16内の超伝導バルク17と対向し、該超伝導バルク17は冷凍機の冷却部18に固定され且つ着磁コイル19により極低温超伝導条件下で着磁される。

【0012】本発明では、NMR装置は以下のように作用する。真空容器内の超伝導バルクを冷却して、その際または冷却後に着磁を行って超伝導バルクを永久磁石にする。この超伝導バルクの発生する磁場は臨界電流密度に依存し、これは従来の永久磁石とは異なった原理である。発生する最大の磁場はその冷却する温度によるが、液体窒素温度(77K)で約1テスラ(T)、30Kで約5Tに達し、従来の永久磁石を遙かに超え、30Kでは従来の大型電磁石の達成できる磁場(2.5T)をも遙かに超える。これは従来の超伝導磁石に匹敵する。NMRやMRIの感度や空間分解能は磁場の強さに依存するため、本発明の核磁気共鳴装置は永久磁石や電磁石では得られない、超伝導磁石に匹敵する性能が出せる。高価な液体ヘリウムを用いず、冷凍機を使うため操作が簡単で特殊な技術を要することもない。従って装置の運転コストが安く、冷媒に関する特殊な技術を必要としない簡便で普及しやすい、医療現場や生産現場で使える装置である。また安価な液体窒素を使用する場合も、ヘリウムのような煩雑な操作はなく、安価であるためやはり簡便で普及型の装置である。

【0013】超伝導バルクは超伝導線材のように複雑で長い工程を経ず、巻線などの工程もなく、焼結法で比較的安価に製造できる。このため超伝導コイルより遙かに安価に構成できる。また線材を用いたコイルに特有のクエンチ現象が原理的に起きない。このためコイルで見積もる安全率を全く気にせず、磁場の発生が設計できる。このことから超伝導コイルに比べて安価にできる。超伝導バルクは永久磁石と同じ振る舞いをするから、磁場発生用のコイルがなく、磁極だけの形状で磁場が発生できる。従ってシステムを極めてコンパクト軽量に構成できる効果がある。しかも冷却に必要な熱容量は、コイルと異なり、磁極部分だけで決まるから、熱容量が極めて小さいことも大きな特長である。この結果、冷凍出力の小さな小型冷凍機を使っても、液体窒素を使っても、極めて短時間に所定の温度まで冷却できる。この時間は通常1~2時間であり、直冷式超伝導コイルの冷却に必要な時間(数十時間)に比べて遙かに速い。このことは電力の節約や操作性に優れることを示すし、使用中の熱擾乱によって起こる安定性にも優れることを意味する。また冷凍機を小型化できることに繋がるから、装置全体の小型化、省エネルギーに貢献する。

【0014】定常電流を流す銅コイルや超伝導電流を流す超伝導コイルはなく、簡便な着磁コイルだけで着磁できるため、大型のコイルが必要ない。このため電磁石、

超伝導磁石に比べて重量が遙かに軽くできる。しかも磁路を形成する鉄心が不要である。電磁石の場合はコイルの他に鉄心も必要なため、これに比べてはるかに軽量化できる。超伝導バルクは永久磁石よりも遙かに強力な磁場が発生できるため、永久磁石に比べても遙かに超伝導バルクが少なく済むため、軽くできる。

【0015】冷却水の必要性が減少する。小型冷凍機の多くは冷却水は必要ないし、大型冷凍機に必要としても、冷凍機の圧縮機の冷却に少量使うだけですむ。コイルに定常電流を流さないことは、運転に大電力が必要なく、水、電力といったコストがかからないという利点がある。

【0016】NMRやMRIの本体が軽量化できることは、その設置条件が緩和されることである。従来10トン以上もあるMRI装置では、床面強度が必要なために設置場所が制限された。また強力な磁場発生範囲が広いために磁気遮蔽の防壁が大きく、重いという問題もあった。これらの制限は小型軽量な本発明では不要となり、安価で手軽、省スペースな分析装置の設置が可能となった。

【0017】冷凍機を停止して超伝導バルクの温度が上昇すると、超伝導状態から常伝導に戻って磁石としての機能が消える。このため例えば災害等で非常時に磁場を停止したいとき、速やかな停止ができる。また、数テスラの強磁場を常時発生させておくことは危険でもある。磁場を停止できる永久磁石としての機能は、装置の保管や不使用時のスタンバイなど、必要な時だけに磁場を発生できることから、操作上の安全性が保てることでもある。

【0018】MRIの主磁場としてそのまま使うことができるのが本発明の大きな特長のひとつである。超伝導バルクから放射される、いわば片側の磁場だけでも使うことができるため、検出コイルを含めた測定系全体を自由に設計できる。従って必要に応じて、対象となる被測定物体の形態などによって、最も適したコイル形状が設計できる。これは本発明が適用できる用途の広さを示す。本発明によれば、広い空間に均一な磁場を必要とした従来のMRI装置などと異なり、狭い空間で、局所的なMRIとしての新しい分析装置が構成できる。この超伝導マイクロイメージング装置によれば、小型動物や、身体を含む動物に指や手、足などの部分的な構造や病体の解析、工業材料に対してもその内部構造の分析などができる。

【0019】〔実施例1〕図2に本発明の実施例を示す。円柱形状に合成した超伝導バルク21を真空断熱容器22の内部に設置し、これを冷凍機の冷却部23(コールドヘッド)に接触させて固定する。本例では、冷凍機は小型のGMサイクル冷凍機を用いてシステムを構成した。このシステム本体の重量は50kg程度であり、従来の超伝導磁石や電磁石の数百kgに比べて遙かに軽

い。真空ポンプ24で容器22を減圧して断熱状態にし、冷凍機25とその圧縮機26を作動させて超伝導バルクの温度を下げて超伝導状態にする。これに真空容器22の外部から磁場を印加して着磁する。容器22の外側に小型の着磁コイル28を設置し、コンデンサからの放電電流を着磁コイル28に導いてパルス磁場で着磁した。着磁のもう一つの方法は、最大10Tの従来のヘリウム冷却の超伝導マグネットを用い、その静磁場中で超伝導バルクを冷却することでも着磁できた。このように着磁した超伝導バルクが捕捉し、発生する磁場はその超伝導バルク表面で最大5テスラに達してバルクが磁石として極めて強力な磁場を発生できることを示した。一例としてY系とSm系超伝導バルクについて、静磁場とパルス磁場で着磁した場合について示す。Y系バルクは $\phi 35 \times 15$ 、Sm系バルクは $\phi 32 \times 15$ の円柱形状である。Y系バルクの静磁場による捕捉磁場は、77Kで0.6Tであった。温度の低下とともに捕捉磁場は、Jcの増加を反映して飛躍的に向上し、15Kでの性能は5Tを超える。一方パルス着磁では、30Kで2.1T、15Kでは2.5Tを超える。Sm系超伝導バルクではY系より小型であるにもかかわらず、77Kで1Tの磁場性能をもつ。

【0020】永久磁石として磁場を発生できる超伝導バルクは、上述したY系、Sm系のほか、希土類系であるLa(ランタン)系、Nd(ネオジム)系、Eu(ユーロピウム)系、Gd(ガドリニウム)系、Er(エルビウム)系、Yb(イッテルビウム)系を用いてもよい。

【0021】図2中では超伝導バルク21の発生する磁場中に被測定物体29が置かれ、その周りにソレノイドコイル30が巻かれている。被測定物体中に鉛直に印加される主磁場に対して直交する方向の高周波磁場を印加し、その方向の磁化の変化を検出してNMR信号を測定することがその役割である。ここでは超伝導体から発生する磁場は従来の永久磁石で得られる磁場の10倍もあり、極めて性能のよいNMR信号が検出できる。

【0022】超伝導バルクの発生する磁場は中央部分が最大で周辺部ほど低くなる直線的な磁場勾配があるため、これを傾斜磁場としてそのまま利用して、各部分での位置を割り出し、MRIとしても応用できる。被測定物体としては人体の一部、指や手足が適用できるが、馬などの身体の一部でもよい。MRIとして水素やリン等の分布状態から、スポーツ医療や整形外科的な欠陥や病床の診断ができる。生理学の動物実験として小動物の組織の変化も非破壊のまま詳細に観察できる。例えば工業材料としての有機物や有機膜、無機物内の水分検出や化学元素の分散状態が非破壊のまま検査できる。特に管や棒状の有機材料、農作物の内部にある欠陥や構造が簡便に評価できる。これは、従来の高価な超伝導磁石を使っていたのでは採算が全く合わなかった一般工業の分野に、極めて安価でコンパクトな本発明を適用することで

広がる効果である。

【0023】〔実施例2〕図3にパルス管冷凍機で超伝導バルク21を冷却する場合の実施例を示す。超伝導バルク21はパルス管冷凍機の冷却部31に固定される。真空ポンプ(記載していない)で容器を減圧したのち、冷凍機の圧縮機26を作動して冷却を開始する。圧縮機26は連結管27でバルブ部32と冷却部31が繋がる。冷却が完了すると着磁コイル33で超伝導バルクを着磁する。パルス管冷凍機ではバルブ部分が独立になるため、冷却部分の振動が抑制でき、磁極である超伝導バルクが振動しにくい利点がある。このため高精度の位置検出が可能となり、MRIとしての性能は向上する。また冷凍能力が優れるため、30Kよりも低温への冷却も可能である。このため超伝導バルクの発生する磁場性能を向上して、システムの性能を向上できる。

【0024】〔実施例3〕図4にNMR信号の検出方式をヘルムホルツ型コイル42によって行う場合の例を示す。GMサイクル冷凍機を用いて冷却した超伝導バルク21の上方に被測定物体43を置いて、その近傍にヘルムホルツコイル42をその軸を主磁場方向に直交して配置する。コイルにはバリコンを組み合わせて10~30MHzで共振させる。基本同調回路にバリキャップをかませ、その両端の電圧を変化させることにより、周波数掃引を可能とし、試料の位置情報を得る。更に磁場変調コイル44を周囲に配し、低周波で変調をかける。この低周波は35Hz、80Hz、400Hzのいずれかを使う。この配置では、例えば人体では口蓋や歯科診断も主磁場中に持ち込むことができるし、長尺なシート状の有機材料や無機材料のマクロ組織がMRIとして検査できるし、実施例1、2と同様、NMR分析機として有機溶液やタンパクの分子構造が測定できる。

【0025】〔実施例4〕図5に複数の超伝導バルクから発生する磁場を組み合わせた例を示す。冷凍機は同軸型のパルス管冷凍機を用い、その冷却部51に超伝導バルク21が固定される。極低温まで冷却されたのちに着磁コイル52で着磁されて永久磁石として磁場を被測定物体11に印加し、ソレノイドコイル12で主磁場に垂直方向のNMR信号を収集する。磁極が対向しているため、磁場の重畳によって、より強磁場での高感度な検出が可能である。しかも被測定物体の中央を中心として磁場は対称に分布しており、従ってNMRとしてのより精巧な材料分析、構造解析が可能となる。MRIとしての性能も向上する。空間に放射される磁場の分布を調節するために、鉄製のヨーク53を用いることも可能であり、これを第5図に付記する。2テスラ以下の応用で、空間磁場の均一性が必要な場合にヨーク間には均一性に優れる磁場を発生することもできる。これにより、分析用のNMR装置も可能となる。なお、これらパルス管冷凍機の本体は1台で5kg以下の重量しかなく、これで数テスラの磁場の発生を可能にしており、従来の強

磁場発生装置（ヘリウム冷却超伝導マグネットや電磁石）に比較して遙かに小型軽量でコンパクトな、しかも性能のよい装置である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の核磁気共鳴装置の基本原理を示す断面図である。

【図2】本発明の第1実施例を示す断面図である。

【図3】本発明の第2実施例を示す断面図である。

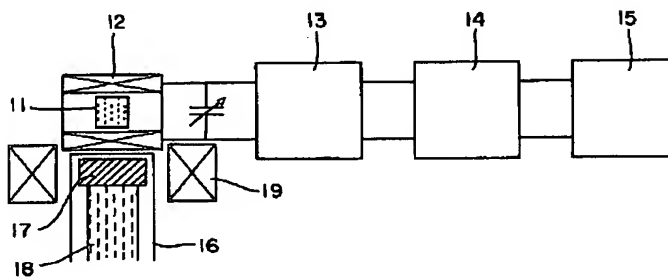
【図4】本発明の第3実施例を示す断面図である。

【図5】本発明の第4実施例を示す断面図である。

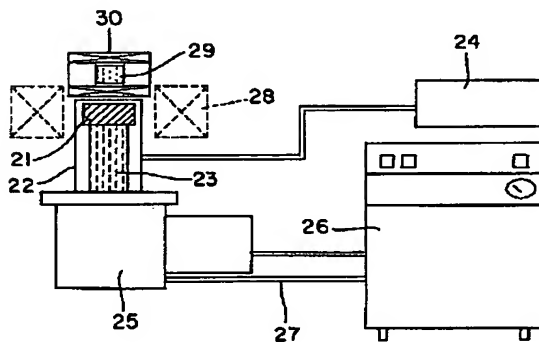
【符号の説明】

- 11、29、43 被測定物体
- 12、30、42 検出コイル
- 16、22 真空断熱容器
- 17、21 超伝導バルク
- 18、23、31、51 冷却部
- 19、28、33、52 着磁コイル

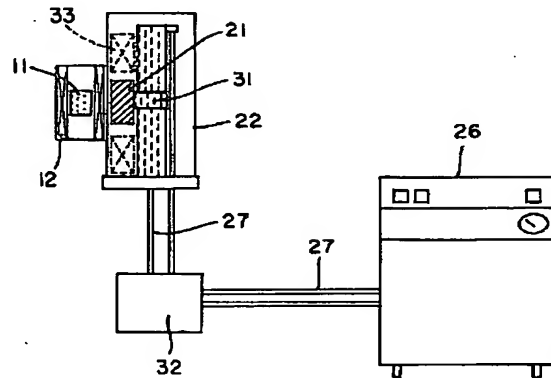
【図1】



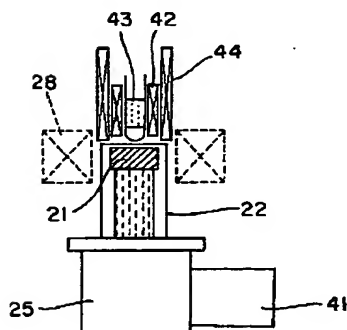
【図2】



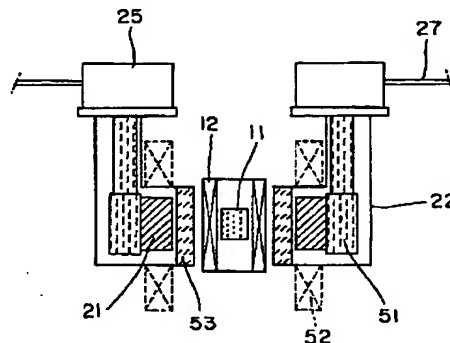
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 伊藤 佳孝
愛知県刈谷市八軒町 5 丁目 50 番地 株式会
社イムラ材料開発研究所内

(72)発明者 柳 陽介
愛知県刈谷市八軒町 5 丁目 50 番地 株式会
社イムラ材料開発研究所内

(72)発明者 吉川 雅章
愛知県刈谷市八軒町 5 丁目 50 番地 株式会
社イムラ材料開発研究所内

(72)発明者 藪野 良平
愛知県刈谷市八軒町 5 丁目 50 番地 株式会
社イムラ材料開発研究所内